

## Study on Magnetic Resonance Imaging Antennas( 磁気共鳴イメージング用アンテナに関する研究)

著者	陳 強
号	1561
発行年	1993
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/6834">http://hdl.handle.net/10097/6834</a>

氏 名	Chen 陳	Qiang 強
授 与 学 位	博 士 ( 工 学 )	
学位授与年月日	平成 6 年 3 月 25 日	
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項	
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気及通信工学専攻	
学 位 論 文 題 目	Study on Magnetic Resonance Imaging Antennas (磁気共鳴イメージング用アンテナに関する研究)	
指 導 教 官	東北大学教授 安達 三郎	
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 安達 三郎	東北大学教授 宮城 光信
	東北大学教授 澤谷 邦男	東北大学助教授 宇野 亨

## 論 文 内 容 要 旨

### 1. Introduction

MRI (Magnetic Resonance Imaging) system, which can show us high-quality cross-sectional images in an arbitrary direction of a human body, has been recognized as a new powerful technique for medical diagnosis and has gradually come to be employed in recent years. At the same time, many researches and investigations have been carried out to improve the performance of the MRI system.

In the MRI system, an RF antenna is used emit a uniform RF magnetic field over the human body and receive the response signals from the body. Several kinds of the RF probes have been developed. The slotted tube resonator (STR) is one kind of them which was proposed by Alderman and Grant [ 1 ] (Fig. 1 ). Since the STR is composed of complicated conducting strips, the theoretical analysis is difficult. Up to the present, the theoretical analysis has been limited to two kinds of approximate methods. One is so-called two dimensional method, in which the STR, usually together with a circular shield, is approximated into an infinite longitude model and then the finite element method is applied for the numerical evaluation [ 2 ][ 3 ][ 4 ]. Although the electromagnetic field only at the middle transverse plane of the STR can be calculated by omitting the effects of the two ends of the



### 3. Effects of Conducting Shield on STR

The slotted tube resonator having a conducting circular cylinder is analyzed by using of the variational method and the dyadic Green's function of a circular waveguide. Three surface current modes are assumed to expand the surface current on the STR. A double surface integral appearing in the evaluation of impedance of the three modes is solved analytically by using the dyadic Green's function, so that the analysis costs little CPU time and accuracy of the results is satisfactory.

It is found that the resonance frequency increases and the sensitivity decreases when the ratio of  $a/R_a$  becomes small. The magnitude of the magnetic field turns to small at the interior area of the antenna, and becomes large at the area between the antenna and the shield when the radius of the shield becomes small (Fig. 3).

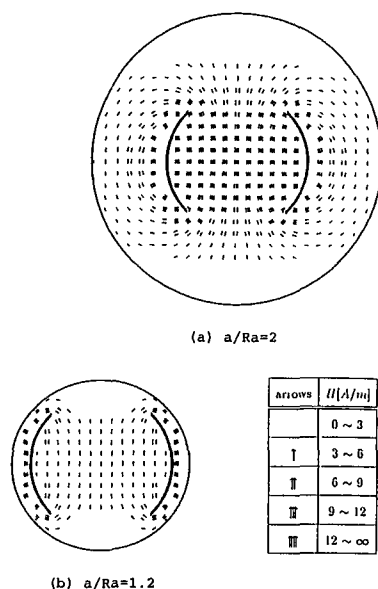


Fig. 3 Distribution of magnetic field on the middle cross section of the STR surrounded with a conducting shield of different radii where  $R_a$  is the radius of the antenna and  $a$  is that of the shield, input power is 1 watt.

### 4. Effects of the Body

The STR surrounded by a conducting circular cylinder and loaded by a dielectric body has been analyzed.

When the body is considered to be an infinitely long circular cylinder, the problem is solved by using the variational method and the dyadic Green's function of a circular waveguide with a dielectric core. The dyadic Green's function is derived. The double surface integral appearing

in the evaluation of impedance of the three modes is also solved analytically. The validity of present analysis has been confirmed by comparison with the experiment.

A hybrid method which combines the variational method and the FDTD method is proposed which makes the analysis possible for the arbitrary structure of the dielectric body. The input impedance and the field distribution can be obtained. The accuracy of the method seems to depend on the accuracy of the FDTD method.

It is shown that the dielectric body decreases the  $Q$  value and the sensitivity greatly

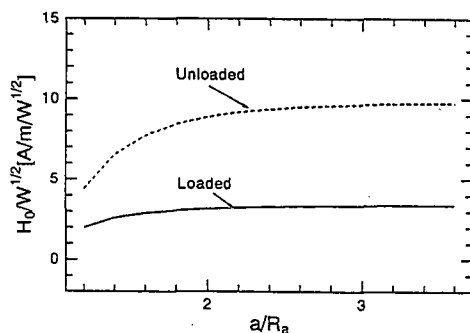


Fig. 4 Sensitivity of the STR

(Fig. 4), but has little effect on the resonance frequency. The strength of the magnetic field decreases greatly by the presence of the dielectric body. However, the relative magnetic field is almost the same to the case without the dielectric body.

## 5. Improvement of the MRI antennas

The electromagnetic field distributions between the STR and the BCR are compared. The STR is superior to the BCR with respect to low electric field, but the BCR can produce more uniform magnetic field than the STR.

The improvement of the MRI antennas on the field distribution is made. The Guard-ring Coupled Birdcage (GCB), which are constructed from the BCR combined with the guard-rings is found to have properties of generating uniform magnetic field distribution like the BCR and smaller electric field than the BCR within the imaging area, according to the investigation by means of measurement and theoretical analysis.

## 6. Conclusions

This research has contributed greatly to the investigation of the effects of the human body and the shield on the MRI antennas, and to the improvement of the MRI antennas. It is no doubt that this research will benefit the development of the MRI.

## References

- [1] D. W. Alderman and D. M. Grant, "An Efficient Decoupler Coil Design Which Reduces Heating in Conductive Samples in Superconducting Spectrometers", *J. Magn. Reson.*, vol. 34, pp. 425-433, 1979.
- [2] L. W. Anne, L. Darrasse, J. Taquin, and M. Sauzade, "The Slotted Cylinder: An Efficient Probe for NMR Imaging", *Magn. Reson. Med.*, vol. 2, pp. 20-28, 1985.
- [3] G. J. Kost, S. E. Anderson, G. B. Matson, and C. B. Conboy, "A Cylindrical-Window NMR Probe with Extended Tuning Range for Studies of the Developing Heart", *J. Magn. Reson.*, vol. 82, No. 1, pp. 238-252, March 1989.
- [4] T. K. Foo, C. E. Hayws, and Y. W. Kang, "An Analytical Model for the Design RF Resonators for MR Body Imaging", *Magn. Reson. Med.*, vol. 21, pp. 165-177, 1991.
- [5] D. H. Hong, S. W. Lee, J. W. Ra and Z. H. Cho, "Whole Body Slotted Tube Resonator

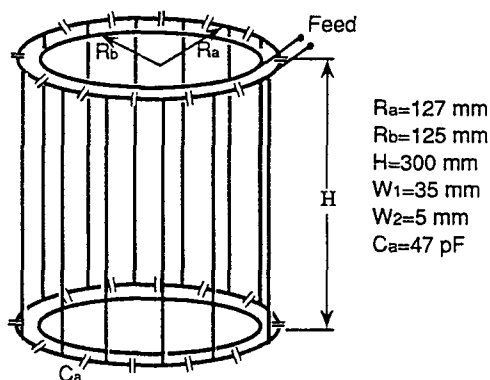


Fig. 5 Geometry of the guard-ring coupled birdcage (GCB)

for Proton NMR Imaging at 2.0 Tesla", *Magn. Reson. Imaging*, vol. 5 No. 3, pp. 239-243, 1987.

- [ 6 ] E. J. Nijhof, " Slotted Resonator : Principles and Applications for High-frequency Imaging and Spectroscopy on Electrically Conducting Sample", *Magn. Reson. Imaging*, vol. 8 No. 3, pp. 345-349, 1990.

## 審 査 結 果 の 要 旨

MRI（磁気共鳴撮像）は、従来の診断装置にはない多くの特長を有する低侵襲なイメージング法として、近年特に注目されている画像診断法である。MRIに用いられるアンテナは画質を決定する重要な役目を果たし、それには均一で高い高周波磁界感度が要求される。しかしながら、MRI用アンテナは、従来経験的な手法によって設計されており、アンテナ構造と磁界感度の関係については不明な点が多く残されていた。

本論文は、弱静磁界のMRI装置に広く用いられているスロット型アンテナ（STR）について、人体モデルやシールド導体がアンテナ特性に及ぼす影響を明らかにすると共に、放射磁界の均一性に優れ、電界強度の弱いアンテナを提案してその特性を示したもので、全編6章よりなる。

第1章は緒言である。

第2章では、人体及びシールドがない自由空間中のSTRをモーメント法を用いて解析し、入力インピーダンス、アンテナ上の電流分布、磁界強度分布、及び電界強度分布を示し、電界強度が極めて弱く、磁界分布が均一であることを明らかにしている。

第3章では、アンテナの外側に置かれる円筒状のシールドの効果を明らかにするために、無限長円筒導体内に置かれたSTRの特性を解析している。まず、円筒導波管内部のグリーン関数を用い、第2章で得られたアンテナの電流分布に基づいて3つの電流モードを用いた変分法による解析法を提案すると共に、実験によりその妥当性を示している。次に、シールド半径を変化させて磁界分布を求め、半径が小さくなると放射磁界が弱くなり、アンテナ感度が低下することを指摘している。これは実用上有用な知見である。

第4章では、人体の影響を考慮するために、無限長円筒導体内に無限長の損失性誘電体円柱が置かれたモデルを用いて解析した結果が述べられている。まず、円筒導波管内に誘電体円柱がある場合のダイアディックグリーン関数を導出し、次に変化法を用いてSTRの特性を求めている。また、共振周波数や相対的な磁界分布に及ぼす誘電体の影響は小さいが、誘電体の損失により磁界強度は弱くなることなどを数値計算により定量的に明らかにしており、STRの設計に有用な資料を与えている。

第5章では、STRに用いられているガードリングをバードケージ型のアンテナに適用して、放射磁界の均一性に優れ、かつ電界強度の弱い新たなアンテナを開発し、その特性を理論的・実験的に示している。

第6章は結言である。

以上要するに、本論文は代表的なMRI用のアンテナであるSTRについて、人体やシールド導体がアンテナ特性に及ぼす影響を明らかにして多くの重要な知見を得ると共に、放射磁界の均一性に優れ、電界強度の弱いアンテナを開発してその特性を示したもので、電磁波工学並びに医用電子工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。